

Miroslav PINKA¹, Martin STOLÁRIK²

**SEIZMICKÁ ODEZVA HYDRAULICKÉHO BOURACÍHO KLADIVA
NA DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ TUNELU**

**SEISMIC RESPONSE HYDRAULIC HAMMER ON THE SECONDARY
LINING TUNNEL**

Abstrakt

Výstavba a následná havárie tunelů v Jablunkovském průsmyku jsou již mezi širokou odbornou veřejností dobře známy. Po havárii zůstala část tunelu stát s již vybudovaným definitivním ostěním. Druhá část byla provizorně zajištěna betonovou zátkou a těžkým mostním bedněním. Při postupu prací se již dosáhlo etapy, kdy musí být zátka odstraněna. K odstranění se používá kombinace trhacích prací a hydraulického bouracího kladiva. Tento článek se zabývá seizmickým vlivem hydraulického bouracího kladiva. Jedná se tedy o unikátní měření vlivu vibrací přímo na definitivní ostění tunelu. Byl sledován útlum vibrací v prvních metrech ostění a získané záznamy byly vyhodnoceny v amplitudové i frekvenční oblasti. Vyhodnocení bylo provedeno na základě ČSN 73 0040.

Klíčová slova

Hydraulické bourací kladivo, seizmické měření, definitivní ostění.

Abstract

Construction and subsequent tunnels collapse of the Jablunkovsk's pass are already among well known of the professional public. After the collapse left part of the tunnel already standing with secondary lining. The second part was temporarily concrete secured stopper and heavy bridge formwork. During the progress of work was already reached that stage when plug must be removed. The stopper was removed by combination of blasting operations and hydraulic hammer. This article deals with seismic effect hydraulic hammer. It is therefore a unique measuring effect of vibration on the final tunnel lining. A vibration downturn was monitored in the first meters of the lining and the records were evaluated in the amplitude and frequency resort. This assessment was made on the basis CSN 73 0040.

Keywords

Hydraulic Hammers, seismic measurement, secondary lining.

1 ÚVOD

Tunely v Jablunkovském průsmyku ležící na strategické železniční komunikaci Bohumín - Žilina. Vzhledem ke své dopravní vytiženosti bylo v roce 2007 přistoupeno k jejich rekonstrukci. Jako provozovaný je momentálně používán starší tunel z roku 1871 a tunel novější z roku 1917

¹ Ing. Miroslav Pinka, Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 928, e-mail: miroslav.pinka.st@vsb.cz

² Ing. Martin Stolarik, Ph.D., Katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 928, e-mail: martin.stolarik@vsb.cz

se rekonstruuje. Po mimořádné události v listopadu 2009, kdy došlo k zavalení části tunelu, až do nynější doby, dochází v rekonstruovaném tunelu ke zmáhání závalu, přičemž čelba je rozdělena do šesti dílčích výrůbů [1].

Při zabezpečení tunelu proti dalšímu zavalování bylo jako jedno z opatření realizováno i částečné vyplnění tunel výplňovou betonovou směsí. Na takto vzniklou zátku bylo postaveno tzv. „pižmo“. Jedná se o speciální podpěrnou konstrukci používanou při konstrukci mostu. Při postupu prací na výstavbě tunelu se však již došlo do fáze, ve které se přistupuje k odstranění „pižma“ a jeho betonové základny. Tyto práce probíhají v blízkosti definitivního ostění tunelu zbudovaného již před havárií. Vzhledem k pevnosti betonu, která výrazně přesahuje pevnost okolní horniny, přichází v úvahu při odstraňování jen trhací práce anebo hydraulické bourací kladivo na podvozku těžkého pásového lopatového rypadla. Blízkost definitivního ostění neumožňuje použití trhacích prací bez rizika poškození. Jediné východisko k řešení tohoto technického problému tak zůstalo použití hydraulického bouracího kladiva.

Většina měření vibrací na tunelových stavbách je realizována při použití trhacích prací [2, 3, 4, 5]. Unikátnost předkládaného měření tak spočívá nejen v použití jiné technologie rozpojování hornin, ale také v umístění senzorů na již zbudovaném definitivním ostění. Z toho vychází možnost přímého posouzení vlivu vibrací na konstrukci ostění. Vlastní posouzení se skládá ze zpracování příslušných útlumových křivek a vyhodnocení záznamů v amplitudové i frekvenční oblasti. Hlavním cílem bylo zjistit, zda by mohlo dojít k poškození zbudovaného ostění.

2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Experimentální měření prováděné při výstavbě tunelu Jablunkov bylo realizováno seizmickou aparaturou GAIA 2T české firmy Vistec s rychlostním senzorem ViGeo 2 (Vistec). Jedná se o stejné aparatury a senzory, které byly již použity při realizaci experimentálního měření na konstrukci Stend [6].

Měření bylo realizováno při odstraňování betonové zátky. K odstranění betonu bylo použito těžké pásové lopatové rypadlo TEREX TC 240, u něhož bylo nainstalováno hydraulické bourací kladivo TEREX THX4400S (Obr. 1).



Obr. 1: Těžké pásové rypadlo TEREX TC 240



Obr. 2: Situace prováděného měření

Měření probíhalo při odstranění betonové zátky (na Obr. 2 označená číslicí 3). Cílem bylo zjistit vliv na definitivní ostění z litého betonu (označeno číslicí 1) mezi místem vykonávané práce a definitivním ostěním byla ještě část primárního ostění ze stříkaného betonu o délce 13 m (označená číslicí 2). Mezi primárním ostěním a místem práce byla vzdálenost 3 m. Minimální vzdálenost, na kterou se tedy při své práci dostane bourací kladivo, k definitivnímu ostění je 16 m. Proto byl první senzor umístěn ve vzdálenosti 16,5 m, ostatní senzory byly umístěny ve vzdálenostech 21 a 27 m.

Geologicky se nachází rekonstruovaný tunel ve složitých podmínkách. Jeho okolí reprezentují Vnější Západní Karpaty, tvořené převážně sedimenty flyšového charakteru (střídání jílovců, prachovců, pískovců a slepenců), které jsou zastoupeny slezskou a račanskou jednotkou. Obě tyto jednotky tvoří samostatné příkrovy, nasunuté přes sebe tzv. magurským nasunutím. Linie magurského nasunutí probíhá na východním úbočí Jablunkovského průsmyku (podél nového silničního tahu E75, Jablunkov – Čadca). Složitá příkrovová stavba je doprovázena zlomovou tektonikou. Z inženýrsko-geologického hlediska je flyšový komplex typickým sesuvným územím.

Vlastní trasa tunelu se nachází ve svrchní části slezské jednotky paleogenního stáří, tvořené převážně jílovcí s rohovcovitými a pískovcovitými polohami. Tunely jsou raženy v nejméně příznivých geologických podmínkách, v souvrství drobně cyklického flyše, s převahou vápnitých jílovců, s velmi nízkou, až extrémně nízkou pevností (tomu odpovídají pevnosti v prostém tlaku v rozmezí 1,5 – 0,5 MPa). Současnou ražbou byly zastiženy laminované tmavošedé jílovce, drobně provrásněné, částečně zbrídlíchnatělé až podrcené. Jílovce obsahují tenké, nepravidelné vložky prachovců až pískovců (mocnost do 5 cm). Převažuje vrstevnatost se středním úklonem k jihovýchodu, brídlíchnatost je strmého úklonu s převládajícím směrem východ – západ.

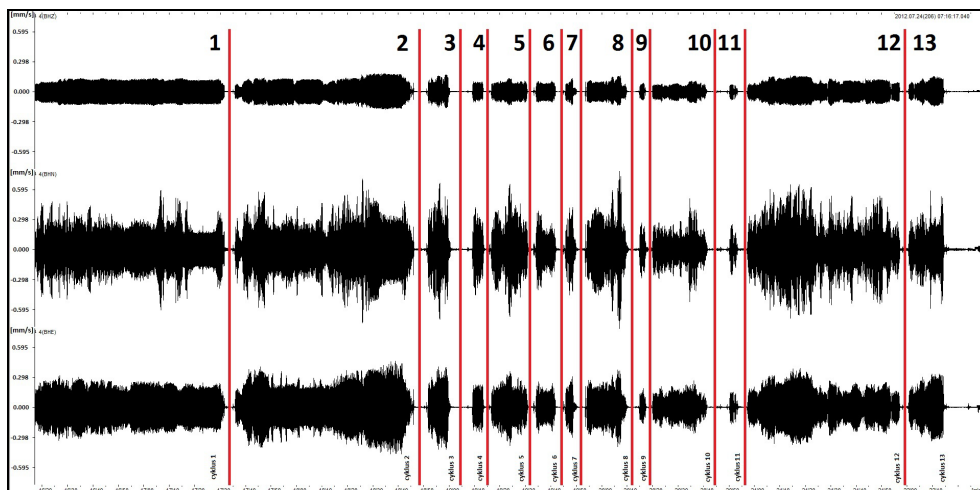
Kvartérní pokryv je převážně budován diluviálními sedimenty, které dosahují mocnosti cca 0,8 - 3,2 m (ojediněle až 6,1 m). Diluvia mají většinou charakter jílu písčitého, až jílu se střední plasticitou, většinou tuhé, místy měkké nebo pevné konzistence.

Vzhledem ke konfiguraci terénu stéká z přilehlých svahů do oblasti průsmyku několik drobných vodotečí, které zavodňují oblast tunelového nadloží. Hladina podzemní vody je v hloubce 0,25-6 m pod terénem. Během ražby nebyly zastiženy výraznější přítoky vody, výrub byl suchý až vlhký [podle 7, 8, 9, 10].

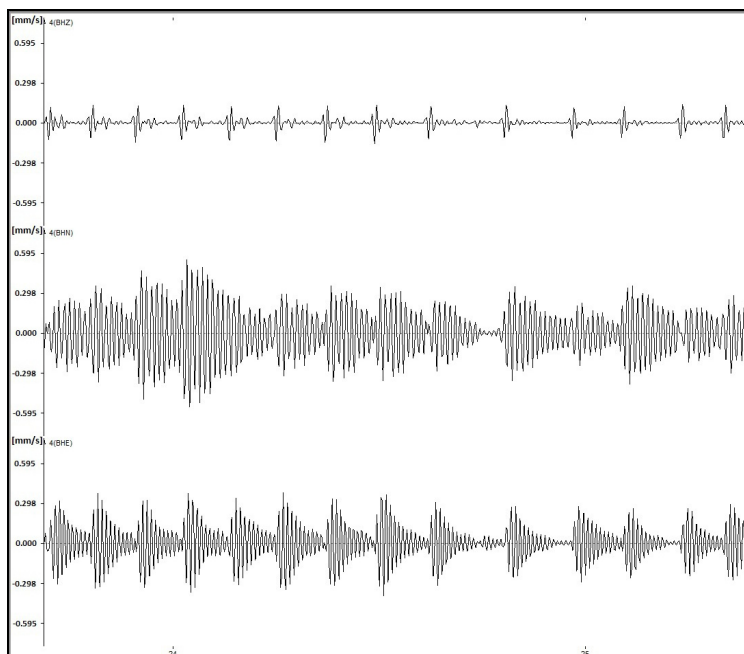
Ostění raženého tunelu je dvouplášťové s mezilehlou foliovou hydroizolací tloušťky 3 mm. Primární ostění je ze stříkaného betonu C 16/20 s výztužnými příhradovými oblouky a dvěma vrstvami výztužných sítí. Stabilita přístropí při ražbě je zajištěna předraženými jehlami. Definitivní ostění je z monolitického železobetonu C 30/37, který je vyztužen příhradovými oblouky a vodorovnými příločkami [11].

3 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Výstupem seizmického měření jsou vlnové obrazy záznamu práce hydraulického bouracího kladiva. Měření probíhalo na již zbudovaném železobetonovém definitivním ostění tunelu a to ve vzdálenostech 16,5 m, 21 m a 27 m, měření probíhalo kontinuálně po dobu cca 6 minut, a proto bylo možné zpracovat více pracovních cyklů. Celkem bylo zpracováno 13 pracovních cyklů. Rozdělení měření na jednotlivé cykly je zobrazeno na obrázku 3. Příklad části vlnového obrazu části 2. cyklu je na obrázku 4. Na obrázcích je shora znázorněna složka vertikální /SHZ/, dále složka horizontální radiální /SHN/ a transversální /SHE/, vodorovná osa je čas. Na obrázku 3 je na vodorovné ose čas v minutách a sekundách; na obrázku 4 je časové měřítko pro názornost roztaženo až do úrovně jednotlivých sekund. Na obou obrázcích jsou na svislých osách uvedeny hodnoty rychlosti kmitání v mm/s.

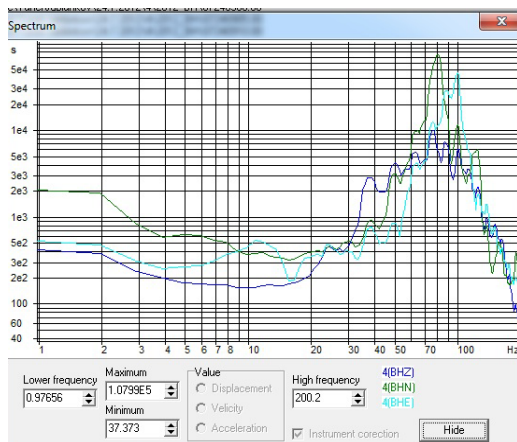


Obr. 3: Rozdělení celkového vlnového obrazu záznamu hydraulického bouracího kladiva

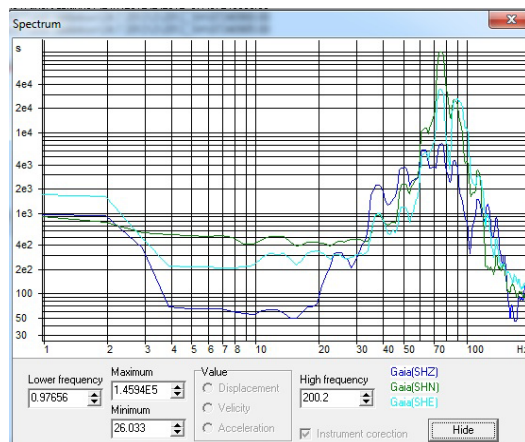


Obr. 4: Příklad části vlnového obrazu záznamu cyklu 2 ve vzdálenosti 16,5 m

Dalším výstupem jsou frekvenční spektra záznamu vibrování (Obr. 5, 6 a 7). Jak je patrné ze spekter získaných z vlnových obrazů vibrování hydraulického kladiva, frekvence na jednotlivých měřicích stanovištích se mění. Ve vzdálenosti 16,5 m (Obr. 5) je frekvence 80 Hz, vzdálenosti 21 m odpovídá 75 Hz (Obr. 6). Stanovišti vzdálenému 27 m (Obr. 7) odpovídá převažující frekvenční rozsah od 60 do 90 Hz s dvěma píky o hodnotách 65 a 74 Hz. Tento jev si lze nejspíše vysvětlit různou frekvenční odezvou tunelového ostění a celkovým útlumem po délce.



Obr. 5: Příklad frekvenčního spektra ve vzdálenosti 16,5 m



Obr. 6: Příklad frekvenčního spektra ve vzdálenosti 21 m



Obr. 7: Příklad frekvenčního spektra ve vzdálenosti 27 m

Z vlnových obrazů byly odečteny maximální hodnoty amplitudy rychlosti kmitání pro jednotlivé cykly a také pro jednotlivé vzdálenosti senzorů (Tab. 1). Takto získané hodnoty byly zpracovány pomocí statistické funkce medián do tabulky 2. Na rozdíl od jiných statistických metod byla funkce medián zvolena pro její výhodu spočívající v nejmenším ovlivnění extrémními hodnotami

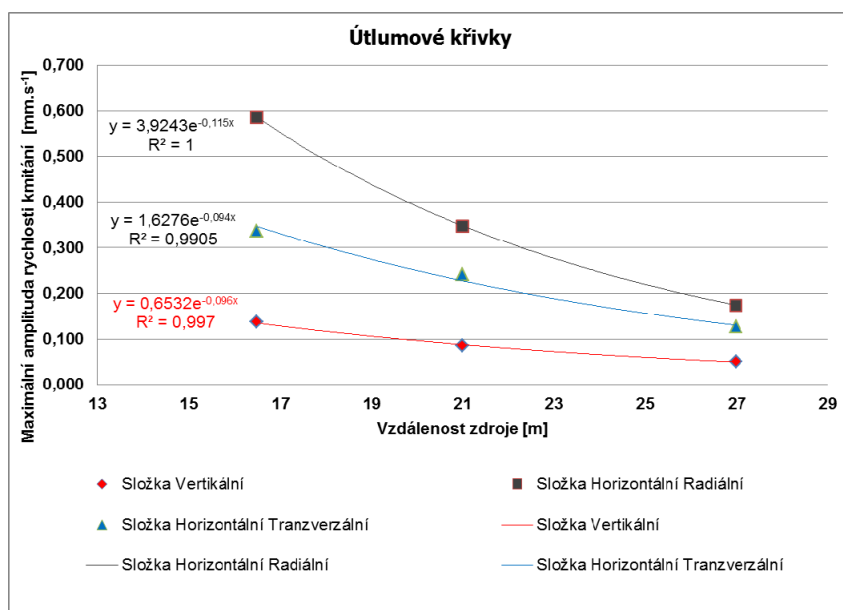
Tab. 1: Maximální složkové amplitudy rychlosti kmitání

Vzdálenost/cyklus	Maximální amplituda rychlosti kmitání [mm.s ⁻¹]		
	Složka Vertikální	Složka Horizontální Radiální	Složka Horizontální Tranzverzální
16,5m/ 1.cyklus	0,137	0,604	0,336
16,5m/ 2.cyklus	0,174	0,729	0,461
16,5m/ 3.cyklus	0,167	0,693	0,422
16,5m/ 4.cyklus	0,108	0,443	0,249
16,5m/ 5.cyklus	0,134	0,675	0,372
16,5m/ 6.cyklus	0,108	0,408	0,261
16,5m/ 7.cyklus	0,137	0,452	0,312
16,5m/ 8.cyklus	0,156	0,779	0,399
16,5m/ 9.cyklus	0,085	0,284	0,187
16,5m/ 10.cyklus	0,119	0,515	0,261
16,5m/ 11.cyklus	0,089	0,257	0,166
16,5m/ 12.cyklus	0,159	0,684	0,372
16,5m/ 13.cyklus	0,152	0,586	0,336
21m/ 1.cyklus	0,094	0,348	0,241
21m/ 2.cyklus	0,098	0,592	0,330
21m/ 3.cyklus	0,098	0,419	0,396
21m/ 4.,cyklus	0,062	0,276	0,178
21m/ 5.cyklus	0,085	0,387	0,393
21m/ 6.cyklus	0,067	0,298	0,205
21m/ 7.cyklus	0,076	0,342	0,218
21m/ 8.cyklus	0,089	0,476	0,290
21m/ 9.cyklus	0,058	0,214	0,134
21m/ 10.cyklus	0,080	0,209	0,178
21m/ 11.cyklus	0,058	0,165	0,125
21m/ 12.cyklus	0,089	0,500	0,321
21m/ 13.cyklus	0,089	0,414	0,263
27m/ 1.cyklus	0,060	0,175	0,127
27m/ 2.cyklus	0,071	0,253	0,206
27m/ 3.cyklus	0,063	0,215	0,182
27m/ 4.cyklus	0,038	0,121	0,073
27m/ 5.cyklus	0,044	0,169	0,123
27m/ 6.cyklus	0,044	0,131	0,102
27m/ 7.cyklus	0,046	0,188	0,161
27m/ 8.cyklus	0,054	0,288	0,209
27m/ 9.cyklus	0,040	0,090	0,058
27m/ 10.cyklus	0,050	0,098	0,088
27m/ 11.cyklus	0,033	0,073	0,046
27m/ 12.cyklus	0,063	0,277	0,207
27m/ 13.cyklus	0,062	0,221	0,142

Tab. 2: Maximální složkové amplitudy rychlosti kmitání

Vzdálenost [m]	Maximální amplituda rychlosti kmitání [mm.s ⁻¹]		
	Složka Vertikální	Složka Horizontální Radiální	Složka Horizontální Tranzverzální
16,5	0,137	0,586	0,336
21	0,085	0,348	0,241
27	0,050	0,175	0,127

Na základě hodnot z tabulky 2. byly sestaveny pro tři na sebe kolmé směry tři útlumové křivky velikosti amplitud pro definitivní ostění ve vzdálenosti prvních metrů od zdroje dynamického zatížení (Graf 1).



Graf 1: Útlumové křivky pro dané prostředí získané na základě měření in-situ

4 ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT Z POHLEDU VLIVU VIBRACÍ NA STAVEBNÍ OBJEKTY

Pro posouzení byla použita ČSN 73 0040 „Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva“ [12]. Posouzení technické seizmicity se s výjimkou odezvy od trhacích prací provádí podle tabulky 3. Jedná se o přepis tabulky 8 – Mezní hodnoty efektivní rychlosti v_{ef} v mm.s⁻¹ a nachází se na straně 20 normy.

Tab. 3: Mezní hodnoty efektivní rychlosti kmitání

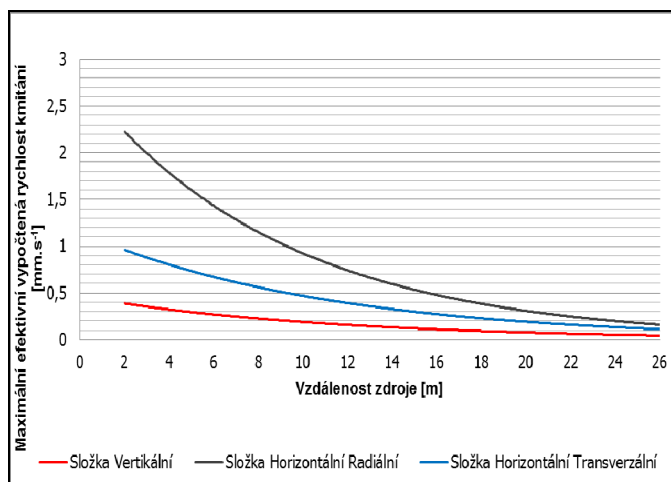
Třída odolnosti objektu	v_{ef} [mm.s ⁻¹]			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	0,2	0,4	0,7	1,1
B	0,4	0,6	1	1,8
C	0,7	1,5	2	2,8
D	0,9	2	2,5	3,5
E	1,1	2,5	3	4
F	1,5	3	4	5

Odezva na zatížení technickou seizmicitou se posuzuje zpravidla hodnotou efektivní rychlosti kmitání na referenčním stanovišti, tj. v nejnižším podlaží objektu nebo na jeho základech. Proto byly senzory rozmístěny na definitivním ostění počvy. Pokud jsou na referenčním stanovišti naměřeny menší hodnoty než uvedené v tabulce 3, není potřeba z hlediska mezního stavu únosnosti dále posuzovat konstrukci vůči poškození. Pro posouzení na základě dané normy je třeba stavební objekt zařadit do třídy významu a třídy odolnosti. Podle třídy významu (ČSN 73 0031 [13]) jsou objekty rozděleny do čtyř tříd, a to U, I, II, III. Jako třída U jsou označeny objekty s mimořádným a/ nebo společenským významem, třída I má význam velký, třída II střední a třídou III jsou označeny objekty omezeného významu.

Podle třídy odolnosti jsou objekty rozděleny do 6 tříd (A – objekty nejvíce náchylné k poškození, neodpovídající dnešním stavebním předpisům např. historické památky; B – běžné cihelné stavby; C – velké budovy z cihel a tvárnic, kamenné mosty, kamenné obklady podzemních objektů, potrubí kameninové; E – ŽB a ocelové konstrukce, ŽB inženýrské sítě, betonové monolitické konstrukce podzemních objektů, žilové a koaxiální sdělovací kabely; F – nejvíce odolné objekty, železobetonové a ocelové ostění tunelů, úkryty civilní obrany a ocelové potrubí) a dále do čtyř podskupin (objekty bytové, občanské, průmyslové a zemědělské; objekty inženýrské; objekty podzemní; podzemní inženýrské sítě a kabely).

Z výše uvedeného přehledu lze zařadit definitivní ostění rekonstruovaného tunelu do třídy odolnosti F. Definitivní ostění totiž již bylo vybudováno ještě před havárií. Dosáhlo již své plné návrhové pevnosti. Vzhledem k strategické důležitosti železniční trasy je třída významu U.

V normě ČSN 73 0040 jsou vibrace charakteru déle trvajícího rázového zatížení nebo ustáleného periodického zatížení posuzovány pomocí jejich efektivních hodnot. Zpracování naměřených záznamů probíhalo jako odečet maximálních rychlostí kmitání, proto byly převedeny pro posouzení tyto maximální hodnoty na efektivní. Pro analýzu naměřených hodnot byly zvoleny rovnice útlumových křivek stanovené na základě Grafu 1 (exponenciální závislost). Na základě těchto rovnic byl vytvořen graf (Graf 2), který zohledňuje vypočtené efektivní hodnoty ve všech třech měřených směrech, aby bylo jednoznačně určeno, ve kterém ze směrů jsou rozhodující nejvyšší hodnoty. Mimo určení velikosti efektivních hodnot, které rozhodují o posouzení, mohou grafy sloužit k orientačnímu získání minimální vzdálenosti, ve které nebude překročena hodnota mezní efektivní rychlosti kmitání pro posuzovanou stavbu. Na svislé ose grafu byla zvolena jako maximální hodnota rychlosti kmitání 3 mm.s^{-1} , která odpovídá třídě významu II a třídě odolnosti objektu E. Tato hodnota byla zvolena jako limitní, protože vyšších hodnot efektivní rychlosti kmitání při daném zdroji dynamického zatížení nebylo dosaženo. Vypočtené hodnoty začínají na hodnotě 2 m, protože v této vzdálenosti je vývoj rychlosti kmitání řízen jinými zákonitostmi a je nutné je určit měřením.



Graf 2: Grafické znázornění posouzení podle normy

Po určení směru s maximálními efektivními hodnotami, v prezentovaném případě směr horizontální radiální, byl proveden výpočet vzdáleností, ve kterých jsou dosaženy hodnoty rychlosti kmitání podle tab. 3. Vypočtené hodnoty bezpečných vzdáleností i pro jiné třídy objektu a jejich významu než je třída FU při ohrožení účinky použitého bouracího kladiva a v daných geologických poměrech jsou uvedeny v tabulce 4. Pokud by se posuzoval objekt podle normy v lokalitách obdobného geologického profilu a materiálového složení primárního i sekundárního ostění a při provádění obdobných prací, stačilo by po provedení zatřídění objektu vyhledat vypočtenou vzdálenost, ve které již objekt nemusí být posuzován dynamickým výpočtem.

Tab. 4: Vypočtené vzdálenosti objektů při dosažení mezních efektivních rychlostí kmitání pro provedené měření

Třída odolnosti objektu	Vzdálenosti [m] při dosažení mezních efektivních rychlostí [mm.s ⁻¹]			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	23,95	17,60	12,50	8,40
B	17,60	13,90	9,25	3,95
C	12,50	5,60	2,95	-
D	10,25	2,95	0,95	-
E	8,40	0,95	-	-
F	5,60	-	-	-

5 ZÁVĚR

V geotechnice a v tunelovém stavitelství zvlášť je vždy nutné potýkat se s nepředvídatelnými vlivy okolního horninového prostředí. V některých případech může kombinace několika takových vlivů způsobit až provozní havarii na stavbě jako v případě rekonstrukce Jablunkovských tunelů [14, 15]. Při dalším postupu prací však tato opatření musejí být překonána, aby uvolnila cestu zdárnému zakončení stavby. Právě při takovém to odstranění betonové zátky bylo realizováno toto poměrně unikátní měření. Unikátnost spočívala na blízkosti pracovních procesů vyvolávajících vibrace a již dohotoveného definitivního ostění. Takto mohl být měřen a zkoumán vliv vibrací přímo na konstrukci. Naměřené hodnoty účinku vibrací na konstrukci byly prezentovány ve formě útlumových křivek. Dále bylo měření zhodnoceno podle příslušné normy a byla vypracována tabulka se vzdálenostmi, ve kterých by při obdobné geologii, analogickém materiálovém složení ostění a podobných pracích nemělo dojít k poškození objektu.

Při posouzení bylo zjištěno, že pro třídu významu objektu U a třídě odolnosti objektu F je tato hranice poškození ve vzdálenosti 5,6 m. Protože nebylo zapotřebí se s bouracími pracemi přiblížit k definitivnímu ostění na méně než 13 m, bylo použití hydraulického demoličního kladiva plně oprávněné.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního přispění specifického výzkumu SP2012/59 „Experimentální a modelová analýza odezvy vlivu technické seizmicity v horninovém prostředí“.

LITERATURA

- [1] JANDEJSEK, O. Tunel Jablunkov, historie a budoucnost?. *Tunel*. 2012, roč. 2012, č. 2, s. 67-71. ISSN 1211-0728
- [2] OZER, U. Environmental impacts of ground vibration induced by blasting at different rock units on the Kadikoy–Kartal metro tunnel. *Engineering Geology*. 2008, No. 100, p. 82-90, Amsterdam.
- [3] NATEGHI, R., KIANY, M., GHOLIPOURI, O. Control negative effects of blasting waves on concrete of the structures by analyzing of parameters of ground vibration. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2009, No. 24, p. 608-616, Amsterdam

- [4] BONGIOVANNI G. Experimental studies of vibrations caused by blasting for tunnel excavations. *Earthquake, blast and impacts: Measurements and effects of vibration, Elsevier Applied Science*, 1991, 201-210.
- [5] STOLÁRIK, M: Results of Seismic Measurement in Tunnels on the Railway Corridor IV. *Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava. Construction Series*. 2011, XI, No. 2, p. 10. ISSN 1804-4824. DOI: 10.2478/v10160-011-0031-x. Dostupné z: <http://versita.com>
- [6] PINKA, M., STOLÁRIK. M., FOJTÍK, R., a PETŘÍK, T. Experimental Seismic Measurement on the Testing Construction and The Analyze. *Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava. Construction Series*. 2012, XII, No. 1, p. 1-11. ISSN 1804-4824. DOI: 10.2478/v10160-012-0006-6. Dostupné z: <http://versita.com>
- [7] Wang, M., Pan, X., Zhang, C., Wen, X., & Wang, K. Study of blasting vibration influence on close-spaced tunnel. *Yantu Lixue/Rock and Soil Mechanics*. 2004, 25(3), p. 412-414. Retrieved from www.scopus.com
- [8] MACHÁČEK, E., ĎURKAČ, P.: 2008, Optimalizace trati státní hranice SR – Mosty u Jablunkova – Bystřice nad Olší, přestavba železničního tunelu Jablunkovský č. 2. *Tunel*. 3, s. 3-8, Praha. ISSN 1211-0728
- [9] RŮŽIČKA, J., KOREJČÍK, J.: 2006, Rekonstrukce Jablunkovských tunelů. *Tunel*. 4, s. 44-47, Praha. ISSN 1211-0728
- [10] JANDEJSEK, O., VESELÝ, V., MÁRA, J. 2009, Tunel Jablunkov – zhodnocení geotechnických rizik přestavby železničního tunelu. *Silnice Železnice*. 4, s. 12-13, Praha.
- [11] MÁRA, J. KOREJČÍK, J. Nový Jablunkovský tunel - projekt a realizace. *Tunel*. 2009, roč. 2009, č. 3, s. 21 -26. ISSN 1211-0728.
- [12] ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva, Český normalizační institut, 1996, Praha.
- [13] ČSN 73 0031 – Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových púd. Základní ustanovení pro výpočet. Český normalizační institut, 1988, Praha.
- [14] KOREJČÍK, J., RŮŽIČKA, J. Reconstruction of the jablunkov tunnels. *Proceedings of the 33rd ITA-AITES World Tunnel Congress - Underground Space - the 4th Dimension of Metropolises*. 2007, 3, p. 1913-1917. Retrieved from www.scopus.com
- [15] ALDORF, J., ĎURIŠ. L. Numerical Analysis of Jablunkov Tunnel Collapse. *Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava. Construction Series*. 2010, X, No. 1, p. 1-8. ISSN 1804-4824. DOI: 10.2478/v10160-010-0005-4. Dostupné z: <http://versita.com>

Oponentní posudek vypracoval:

Doc. RNDr. Blažej Pandula, CSc., Ústav geovied, Fakulta BERG, TU v Košiciach.

Doc. Ing. Karel Drozd, CSc., Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, Přírodovědecká fakulta, UK v Praze.